

SVERIGE

(12) PATENTSKRIF I

(13)

C

110 512 393

(19) SE

(51) Internationell klass 7
G02B 6/28

AF3



PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET

(45) Patent meddelat 2000-03-13
 (41) Ansökan allmänt tillgänglig 1994-06-18
 (22) Patentansökan inkom 1992-12-17
 (24) Löpdag 1992-12-17
 (62) Stamansökans nummer
 (86) Internationell ingivningsdag
 (86) Ingivningsdag för ansökan om europeisk patent
 (83) Deposition av mikroorganism

(21) Patentansöknings-
nummer 9203803-3

Ansökan inkommen som:

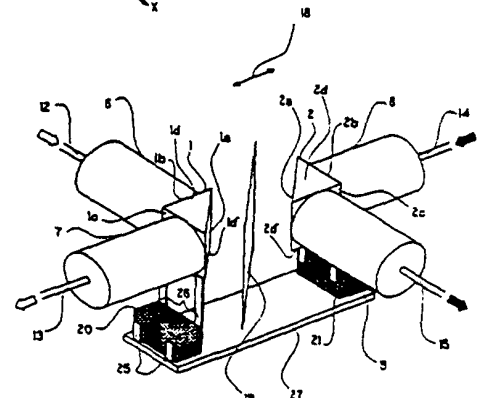
- ☒ svensk patentansökan
☐ fulltöjd internationell patentansökan med nummer
☐ omvandlad europeisk patentansökan med nummer

(30) Prioritetsuppgifter

(73) PATENTHAVARE Telefonaktiebolaget L M Ericsson, 126 25 Stockholm SE
 (72) UPPFINNARE Jan Anders Rönnberg, Bandhagen SE
 (74) OMBUD Ericsson Telecom AB
 (54) BENÄMNING Anordning för omkoppling av ljus.
 (56) ANFÖRDA PUBLIKATIONER:
 GB A 1 594 336 (G02B 7/26)
 Applied Optics, Vol 19, No 7, 1 April 1980,
 sid 1127-1138

(57) SAMMANDRAG:

Föreliggande uppfinning hänför sig till en anordning för omkoppling av ljus. Anordningen omfattar åtminstone två prismor (1, 2) och åtminstone fyra gradientindexlinser (6, 7, 8, 9) mot vilkas ena kortsida en optisk fiber (12, 13, 14, 15) är fastsatt och vilka gradientindexlinserns andra kortsida är fastsatt mot en prismayta (1b, 1c, 2b, 2c). De optiska fibrerna är antingen mottagande fibrer (12, 14) som leder in ljus till anordningen eller sändande fibrer (13, 15) som leder ut ljus från anordningen. Ett ljusknippe (22a) till en mottagande fiber (12) som hör till ett första prisma (1) totalreflekteras i prismat och leds ut från en s.k. första sändande fiber (13) som hör till det första prismat (1). Enligt uppfinningen omfattar anordningen även ett kopplingsorgan (20, 21) med vars hjälp prismorna kan bringas mot varandra, mot var sin sida av en indexmatchande film (19). Ett ljusknippe (22b) till den mottagande fibern (12) ändrar härvid riktning till att passera det första prismat (1) och utsändas från en andra sändande fiber (15) som hör till ett andra prisma (2).



Case Name: W.A. Reed 26-3
 Serial No.: 09/896789
 Date filed: June 29, 2001

Tekniskt område

Föreliggande uppfinning hänför sig till en anordning för omkoppling av ljus. Anordningen omfattar åtminstone två prismor och åtminstone fyra gradientindexlinser. Mot gradientindexlinsernas ena kortsida är en optisk fiber fastsatt och gradientindexlinsernas andra kortsida är fastsatt mot en prismayta. De optiska fibrerna är antingen mottagande fibrer som leder in ljus till anordningen eller sändande fibrer som leder ut ljus från anordningen. Ett ljusknippe till en mottagande fiber som hör till ett första prisma totalreflekteras i prismat och leds ut från en s.k. första sändande fiber som hör till det första prismat.

Teknikens ståndpunkt

Användning av optiska ljusledare blir allt vanligare i kommunikationsanläggningar och då speciellt inom telekommunikationsanläggningar där kraven på stor bandbredd i signalöverföringen är av synnerligen stor vikt. Samtidigt med ökat användande av optiska ljusledare ökar behovet av optiska omkopplare. En vanlig tillämpning av optiska omkopplare är vid s.k. redundant dataöverföring. Med redundant överföring menas utsändande av två likadana dataströmmar från samma sändare till samma mottagare men genom olika överföringsanordningar. Syftet med denna typ av redundant överföring är att mottagaren i händelse av en störning eller ett avbrott i en av överföringsanordningarna ges möjlighet att koppla om till en mer gynnsam överföringsanordning. Omkopplingen sker härvid med hjälp av en optisk omkopplare.

Genom exempelvis SE 8103251-8 är förut känt en optisk omkopplare där en ljusstråle får passera ett polarisationsvridorgan. Efter vridorganet delas strålen upp i två delstrålar m.h.a. ett prisma. Vid 0° vridning av vridorganet dämpas den ena av de två utgående delstrålarna och vid 90° vridning dämpas den andra av de två strålarna. Nackdelen med denna kända teknik är framför allt nödvändigheten av ett polarisationsvridande element samt att det infallande ljuset måste vara polariserat, vilket ställer krav på ljusledarna att behålla polarisationsriktningen. I US 4 789 215

visas en annan optisk omkopplare där en ljusstråle passerar ett roterbart och/eller nedsänkbart prisma. I prismats ena position passerar ljus oavlänkat i en första riktning och i prismats andra position avleds ljuset i en andra riktning. Problemet med den i
5 det amerikanska patentet beskrivna anordningen är framförallt anordningens komplicerade utförande, dess frihetsgradsberoende vid mer komplicerade omkopplingar samt de relativt sett stora mekaniska rörelser som krävs vid omkoppling.

10 Redogörelse för uppfinningen

Ändamålet med föreliggande uppfinning är att skapa en billig och enkel optisk omkopplare. I sin enklaste utföringsform omfattar omkopplaren två prismor med samma brytningsindex. Prismornas basytor är rätvinkliga likbenta trianglar. Enligt uppfinningen
15 fastsättes en optisk fiber, via en gradientindexlins, i mittpunkten på varje kateteryta hos prismorna. Då ljus leds in till den ena av de två fibrerna som hör till varje prisma, den s.k. mottagande fibern, sker totalreflektion i prismats hypotenusayta så att ljuset leds ut genom den andra av fibrerna på samma
20 prisma, den s.k. sändande fibern. Då omkoppling önskas föres de bägge prismorna samman så att hypotenusaytorna tätt anligger mot varandra. Det inkommande ljuset till den mottagande fibern i varje prisma passerar härvid genom hypotenusaytan och vidare till nästa prisma där ljuset leds ut från detta nästa prismas sändande
25 optiska fiber. Anordningen har de kännetecken som framgår av bifogade patentkrav och kommer nu att beskrivas närmare med hjälp av föredragna utföringsexempel och med hänvisning till bifogade ritningar.

Figurbeskrivning

30 Figur 1a visar en perspektivvy av en optisk omkopplare med fyra in- och utgångar, där omkopplaren kan manövreras i en av tre dimensionsriktningar.

Figur 1b-1c visar en planvy av den optisk omkopplaren enligt figur 1a.

Figur 2a-2c visar en planvy av en alternativ optisk omkopplare med åtta in- och utgångar, där omkopplaren kan manövreras i två av tre dimensionsriktningar.

5 Figur 3a-3b visar en perspektivvy av ytterligare en alternativ utföringsform av en optisk omkopplare med tjugofyra in- och utgångar, där omkopplaren kan manövreras i tre dimensionsriktningar.

Föredragen utföringsform

En uppfinningsenlig optisk 2x2-omkopplare visas i figurerna 1a-c.
10 Omkopplaren omfattar två likformiga prismor 1, 2 med samma brytningsindex. Prismornas basytor 1d, 1d', 2d, 2d' är formade som rätvinkliga likbenta trianglar. En rektangulär yta vars långsida utgöres av ett prismas bägge triangulära basytors hypotenusor benämnes en hypotenusayta 1a, 2a. En kvadratisk yta
15 där två motstående sidor utgöres av ett prismas bägge basytors parallella katetrar benämnes en kateteryta 1b, 1c, 2b, 2c. Mot varje kateteryta 1b, 1c, 2b, 2c är en cylindrisk gradientindexlins 6, 7, 8, 9 fastsatt och mot varje prisma är en piezoelektrisk kristall 20, 21 fastsatt vilket kommer att beskrivas närmare
20 nedan. Gradientindexlinserna kallas härafter i beskrivningen för GRIN-linser. Omkopplaren omfattar även en till varje GRIN-lins hörande optisk fiber 12, 13, 14, 15 samt en indexmatchande film 19 som är fixerad mellan prismornas hypotenusaytor. Prismornas, GRIN-linsernas och filmens brytningsindex är i nedanstående
25 utföringsexempel ca 1,46.

Omkopplaren enligt figur 1a befinner sig i ett rum med tre dimensioner som representeras av en X-,Y- och Z-axel. Z-axeln
visar i nedanstående beskrivning en höjdriktning. Enligt figuren
vilar en rektangulär bottenplatta 27 i X/Y-planet. Plattan utgör
30 omkopplarens undre del. På varje kortända hos bottenplattan befinner sig två mindre stag 25, var och en i närheten av långsidorna. De mindre stagen sträcker sig i Z-axelns riktning och är med sina undre kortsidor fastsatta på bottenplattans ovansida. Mellan de fyra mindre stagen befinner sig två parallel-

lepipedformade piezoelektriska kristaller 20, 21 vilande mot bottenplattan. Kristallerna är var och en, med en av sina långa sidoytor fastsatta mot ett av de två stagparen vid bottenplattans kortsida. Mot var och en av de långa sidoytorna som är vända från de mindre stagen är två längre stag 26 i närheten av bottenplattans långsidor med sina mot bottenplattan vända undre parti fastsatta. Mot varje par av längre stag på dess från bottenplattan vända övre parti och mot den från kristallen vända sidan är ett av prismorna 1, 2 med sin ena kateteryta 1c, 2b fastsatt. De två prismorna är så placerade att de två hypotenusaytorna 1a, 2a är vända mot varandra på ett avstånd av ca. 1 mm. Två av kateterytorna 1c, 2b är härvid parallella och befinner sig mitt emot varandra och de andra två kateterytorna 1b, 2c är parallella och förskjutna i förhållande till varandra. Då en elektrisk spänning lägges över de piezoelektriska kristallerna utvidgar sig dessa så att prismorna 1, 2 bringas i Y-axelns riktning mot varandra, till tät anliggning på var sin sida av den indexmatchande filmen 19. Då spänningen över kristallerna avlägsnas drager sig dessa åter samman till sina ursprungslägen. GRIN-linserna 6, 7, 8, 9 vars brytningsindex är samma som prismornas är var och en med sin ena kortsida fastsatta med indexmatchande lim mot en av kateterytorna. GRIN-linsens diameter är samma som den kvadratiske kateterytans sida, vilken sida har en längd av ca. 2 mm. Mot var och en av GRIN-linsernas andra kortsidas centrum är en optisk fiber fastsatt med samma ovan nämnda indexmatchande lim. Fibrer som är limmade mot GRIN-linser är en standardprodukt som finns att köpa i fackhandeln. De optiska fibrernas diameter är väsentligt mindre än GRIN-linsernas, ett vanligt förhållande är 1:16.

Enligt figur 1b mottages ljus såsom framgår av pilarna till en av de två optiska fibrerna som hör till varje prisma, den s.k. mottagande fibern 12, 14. Den mottagande fibern 12, 14 leder ljuset, vars strålgång 22a, 23a visas i figuren, in till den första GRIN-linsens centrum, vilken lins härafter benämnes mottagande lins 6, 8. GRIN-linserna påverkar det inkommande ljuset att divergera i linsens längdriktning såsom strålgången 22a, 23a visar. Gradientindexlinsens längd är så dimensionerad

att ljusknippet vid inträngandet i prisma 1 är väsentligen parallellt. Det till prismorna inkommande ljuset totalreflekteras i prismornas hypotenusaytor 1a, 2a och transporteras vidare till den andra GRIN-linsen som hör till samma prisma. Denna andra GRIN-lins benämnes härafter sändande lins 7, 9. Efter inträngandet i den sändande linsen konvergerar ljuset i linsens längdriktning. GRIN-linsens längd är så dimensionerad att ljusknippet vid utträdet ur denna är väsentligen fokuserat till en punkt innanför den inre diametern på den till den sändande linsen 7, 9 hörande optiska fibern, som härafter benämnes den sändande fibern 13, 15. I omkopplarens passiva läge, d.v.s. då spänningen ej är lagd över de piezoelektriska kristallerna 20, 21, transporteras alltså ljus från de mottagande fibrerna 12, 14 i varje prisma till de sändande fibrerna 13, 15 i samma prisma.

I figur 1c har omkoppling skett genom att en spänning lagts över de piezoelektriska kristallerna 20, 21 så att dessa utvidgats i Y-axelns riktning. De bägge prismornas hypotenusaytor har härvid bringats i riktning mot varandra till tät anliggning mot var sin sida av den indexmatchande filmen 19. Den indexmatchande filmen, vars plana yta är större eller lika med prismornas hypotenusaytor 1a, 2a, är fixerad i bottenplattan mellan prismorna parallellt med hypotenusaytorna. Fixeringen av filmen är inte visad i figur 1a. Filmen 19 består av en elastisk polymer som medger tät anliggning mellan filmen och prismorna så att ingen luft innesluts. Ljus, vars strålgång 22b, 23b visas i figuren, inkommer till prismorna och passerar härvid genom hypotenusaytorna istället för att totalreflekteras i dessa. I omkopplarens aktiva läge, dvs då spänningen är pålagd över de piezoelektriska kristallerna, transporteras ljus från de mottagande fibrerna 12, 14 i varje prisma 1, 2 till de sändande fibrerna 15, 13 i motstående prisma 2, 1.

En annan uppfinningsenlig utföringsform visas i figurerna 2a-c där omkopplaren befinner sig i ett rum med tre dimensioner som representeras av en X-, Y- och Z-axel. Z-axeln visar i nedanstående beskrivning en höjdriktning. Omkopplaren omfattar här fyra prismor 31, 32, 33, 34 vars basytor 35 är rätvinkliga

likbenta trianglar. Mot varje prismas hypotenusayta 31a är två GRIN-linser med cirkulärt tvärsnitt med sin ena kortsida fastsatta. Omkopplaren har i figurerna endast åskådliggörs med en planvy över X/Y-planet och hypotenusaytan 31a visas endast som ett rakt streck. Hypotenusaytorna som breder ut sig i X/Z- respektive Y/Z-planet är rektangulära med kortsidan samma som diametern hos en GRIN-lins 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 och långsidan samma som två linsers sammanlagda diameter. Mot var och en av GRIN-linsernas andra kortsida är optiska fibrer 36, 37, 38 fastsatta såsom förut beskrivits. De fyra prismorna vilar med sina triangulära basytor i X/Y-planet och är vända med basytans triangelspets mot varandra. Piezoelektriska kristaller är så anordnade att prismorna 31, 32, 33, 34 förflyttar sig i triangelspetsens riktning mot en gemensam mittpunkt P då en elektrisk spänning lägges över den till varje prisma hörande kristallen. Kristallerna är inte visade i figurerna men är fastsatta enligt samma princip som tidigare visats. Mellan prismornas kateterytor befinner sig en indexmatchande film 39. Filmen omfattar fyra transparenta skivor, vilka var och en är åtminstone lika stor som en kateteryta. Varje sådan skiva befinner sig mellan två prismors kateterytor 31c, 32b. Den indexmatchande filmen visas i figurerna som ett tvärsnitt med formen av ett kors där korsets fyra grenar var och en har en längd större än eller lika med längden av en basytas kateter. Filmens höjd i Z-axelns riktning är större eller lika med diametern hos en GRIN-lins. Korsets mittpunkt sammanfaller med den gemensamma punkten P. Ljuset representeras i figurerna 2a-c av pilar med olika fyllning. Exempelvis representerar en första pil 53 med mörk fyllning som pekar in mot omkopplaren, inkommande ljus och en andra pil 54 med samma mörka fyllning som pekar ut från omkopplaren representerar det tidigare infallande ljuset då detta utkommer ur omkopplaren.

I figur 2a visas omkopplaren i sitt passiva läge, dvs då ingen spänning lagts över de piezoelektriska kristallerna. Inkommande ljus transporteras härvid från varje prismas 31 mottagande fiber 36 och totalreflekteras först i prismats ena kateteryta 31b och sedan i prismats andra kateteryta 31c för att därefter utkomma från samma prismas sändande fiber 37. Ljusets utbredning genom de

olika komponenterna i omkopplaren sker på samma sätt som visats i föregående utföringsexempel.

I figur 2b visas omkopplaren i ett aktivt läge. En spänning har här lagts över tre av de fyra piezoelektriska kristallerna så att
5 tre av prismorna 31, 32, 33 har förflyttat sig med den triangel-
formade basytans spets mot den gemensamma punkten P till tät
anliggning mot den indexmatchande filmen 39. Såsom framgår av
figuren sker totalreflektion i samtliga fall då ljus med en viss
vinkel träffar en yta som gränsar till ett medium med lägre
10 brytningsindex medan ljuset behåller sin ursprungliga riktning så
länge ljuset utbreder sig i ett medium med samma brytningsindex.
I figuren framgår ljusets utbredning med hjälp av pilarna, där
två pilar med samma typ av fyllning representerar ett ljusknippes
in- resp. utgång till/från omkopplaren.

15 I figur 2c visas omkopplaren i ett annat aktivt läge, dvs en
spänning har lagts över samtliga piezoelektriska kristaller så
att de fyra prismorna 31, 32, 33, 34 härvid alla har förflyttat
sig mot punkten P. Ljuset från samtliga mottagande fibrer
transporteras i detta fall oavlänskat rakt genom omkopplaren utan
20 totalreflektion vilket framgår av pilarna i figur 2c.

I figurerna 3a-b visas ett annat uppfinningsenligt utföringsexem-
pel där omkopplaren omfattar sex pyramidformade prismor 61, 62,
63, 64, 65, 66 vars basytor har formen av en kvadrat och där en
sidoyta intar vinkeln 45° i förhållande till basytan. Mot varje
25 prisms basyta är fyra GRIN-linser 69, 70, 71, 72 med sin ena
kortsida fastsatta och mot gradientindexlinsernas andra kortsida
är en optisk fiber fastsatt. GRIN-linsen fastsättes med sin ena
kortsida i närheten av basytans ena sida så att linsens kortsida
då denna projiceras ner mot pyramidens motstående sidoyta,
30 befinner sig mellan den triangelformade sidoytans bägge ben.
Fastsättningen av de olika komponenterna sker på samma sätt såsom
tidigare beskrivits. Prismorna är så anordnade att deras
pyramidspetsar samtliga pekar mot en gemensam punkt Q. Centralt
mellan prismorna befinner sig en indexmatchande film 82. Den
35 indexmatchande filmen omfattar tolv transparenta triangelformade

skivor 83 där varje skiva är åtminstone lika stor som ett prismas sidoyta. De transparenta skivorna är uppspända på en kubformad ställning med stag uppsatta mellan de diametralt motsatta hörnen hos kuben. Den indexmatchande filmens mittpunkt sammanfaller härvid med den gemensamma punkten Q. På varje prisma är en piezoelektrisk kristall så anordnad att prismet kan förflyttas i samma riktning som den pyramidformade spetsen pekar. De piezoelektriska kristallerna är inte visade i figurerna 3a-3b.

Figur 3a visar omkopplaren i sitt passiva läge, dvs då ingen spänning har lagts över de piezoelektriska kristallerna. I figuren visas endast inkommande ljus till två av fibrerna, vilket åskådliggjorts med inkommande ofyllda respektive fyllda pilar. Inkommande ljus transporteras enligt figuren från varje prismas mottagande fiber och totalreflekteras först i prismats ena sidoyta och sedan i prismats andra motstående sidoyta för att därefter utfalla från samma prismas sändande fiber. I figuren framgår ljusets utbredning med hjälp av pilarna, där två pilar med samma typ av fyllning representerar ett ljusknippes in- resp. utgång till/från omkopplaren.

I figur 3b visas omkopplaren i ett aktivt läge. Här har spänning lagts över två av de sex piezoelektriska kristallerna. Såsom framgår av figuren sker totalreflektion i samtliga fall då ljus träffar en yta som gränsar till ett medium med lägre brytningsindex medan ljuset behåller sin ursprungliga riktning så länge ljuset utbreder sig i samma medium, vilket visas med hjälp av pilarna i figur 3b.

Uppfinningen som ovan med några utföringsexempel beskrivits uppnår till en jämförelsevis ringa kostnad önskat resultat utan onödig komplexitet och utan några speciella krav på det infallande ljuset. Ovan nämnda anordningar kan naturligtvis innehålla variationer men ändå hållas inom ramen för det uppfinningsenliga. De ovan nämnda piezoelektriska kristallerna kan ersättas med exempelvis en stegmotor eller annan likvärdig förflyttningsanordning. Den indexmatchande filmens utförande kan varieras så länge den uppfyller sin funktion. Filmen kan även

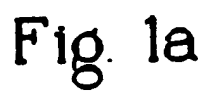
helt avlägsnas om det är möjligt att åstadkomma så tät anliggning mellan två prismaytor att ingen luft innesluts. De i utföringsexemplen angivna längdmåtten samt brytningsindex skall inte ses som nödvändiga för uppfinningen utan endast som förslag. Det

5 är naturligtvis inte nödvändigt att fullständigt bestycka prismorna med GRIN-linser, i de fall alla kopplingsmöjligheter inte önskas utnyttjas. Uppfinningen är alltså inte begränsad till de ovan beskrivna och på ritningarna visade utföringsformerna, utan kan modifieras inom ramen för de bifogade patentkraven.

PATENTKRAV

1. Anordning för omkoppling av ljus, vilken anordning omfattar prismor (31, 32, 33, 34) och gradientindexlinser (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48), där en optisk fiber (36, 37, 38, 40) är fastsatt
5 mot ena kortsidan av varje lins och vilka linsers andra kortsida är fastsatta, en eller flera, mot en prismayta (31a), varvid de optiska fibrerna antingen är mottagande fibrer (36, 40) som leder in ljus till anordningen, eller sändande fibrer (37, 38) som leder ut ljus från anordningen, så att ett ljusknippe till en
10 första mottagande fiber (36) som hör till ett första prisma (31) totalreflekteras i prismet och leds ut från en s.k. första sändande fiber (37) som hör till det första prismet (31), vilken anordning även omfattar kopplingsorgan med vars hjälp prismorna kan bringas mot varandra till tät anliggning med var sin
15 prismayta mot var sin sida av en indexmatchande film (39) så att ljusknippet till den första mottagande fibern (36) ändrar riktning från att totalreflekteras i det första prismet (31) till att passera genom prismet och utsändas från en andra sändande fiber (38) som hör till ett andra prisma (32) k ä n n e t e c k
20 n a d av att anordningen omfattar fyra prismor vars basytor (35) är rätvinkliga likbenta trianglar, där en till en hypotenusahörande prismayta benämnes hypotenusayta (31a) och en till en kateter hörande prismayta benämnes kateteryta (31b, 31c) och där två av gradientindexlinserna (41, 42) är fastsatta mot varje
25 prismas hypotenusayta (31a) och där prismornas kantlinjer, mellan basytornas räta vinklar, pekar mot en gemensam linje (P) och att kopplingsorganen är så anordnade att åtminstone två av prismorna kan sammanföras så att rätvinkelspetsarna sammanfaller i linjen (P), varvid omkoppling av ljuset sker.

2. Anordning för omkoppling av ljus, vilken anordning omfattar prismor (61, 62, 63, 64, 65, 66) och gradientindexlinser (69, 70, 71, 72), där en optisk fiber (91, 92, 93, 94) är fastsatt mot ena kortsidan av varje lins och vilka linsers andra kortsida, en eller flera, är fastsatta mot en prismayta (61a), varvid de optiska fibrerna antingen är mottagande fibrer (91, 93) som leder in ljus till anordningen eller sändande fibrer (92, 94) som leder ut ljus från anordningen, så att ett ljusknippe till en första mottagande fiber (91) som hör till ett första prisma (61) totalreflekteras i prismat och leds ut från en s.k. första sändande fiber (92) som hör till det första prismat (61), vilken anordning även omfattar kopplingsorgan med vars hjälp prismorna kan bringas mot varandra till tät anliggning med var sin prismayta mot var sin sida av en indexmatchande film (83) så att ljusknippet till den första mottagande fibern (91) ändrar riktning från att totalreflekteras i det första prismat (61) till att passera genom prismat och utsändas från en andra sändande fiber (94) som hör till ett andra prisma (62)
- k å n n e t e c k n a d av att anordningen omfattar sex pyramidformade prismor (61, 62, 63, 64, 65, 66) där en sidoyta är vinklad 45° i förhållande till en basyta, där mot varje prismas basyta (61a) fyra av gradientindexlinserna (69, 70, 71, 72) är fastsatta i anslutning till basytans sidor och där prismornas pyramidspetsar samtliga pekar mot en gemensam punkt (Q) och att kopplingsorganen är så anordnade att åtminstone två av prismorna (61, 62) kan sammanföras så pyramidspetsarna sammanfaller i punkten (Q), varvid omkoppling av ljuset sker.



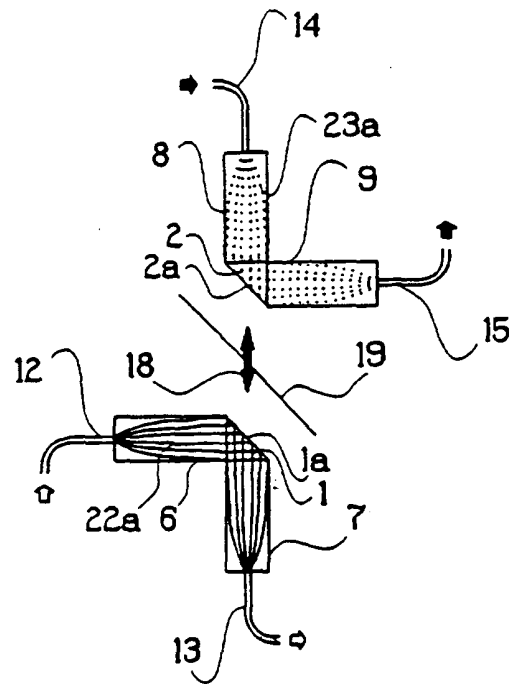
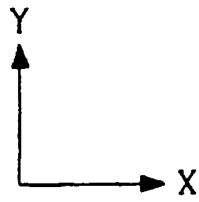


Fig. 1b

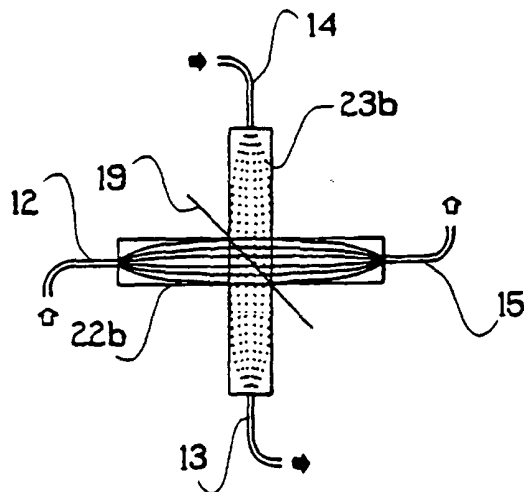


Fig. 1c

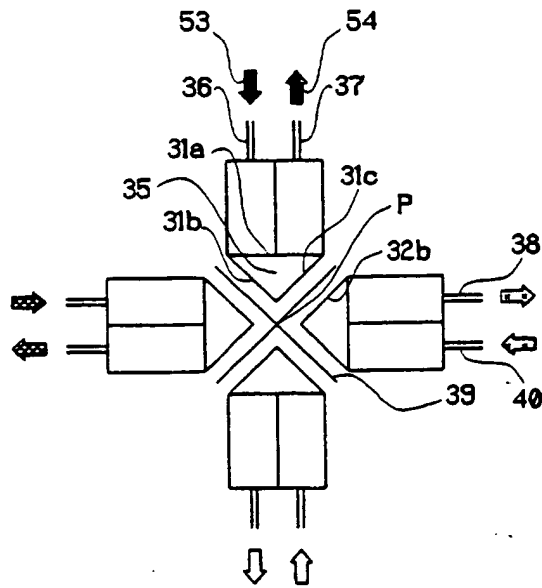


FIG. 2a

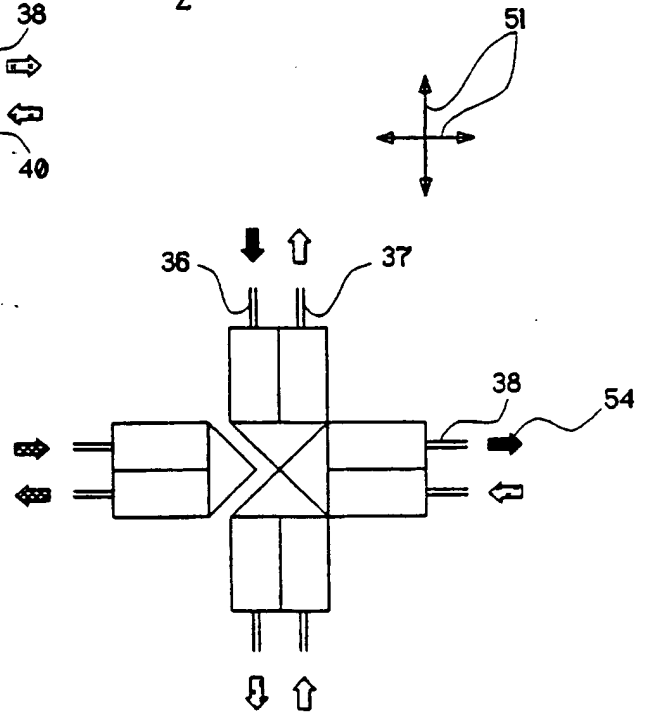


FIG. 2b

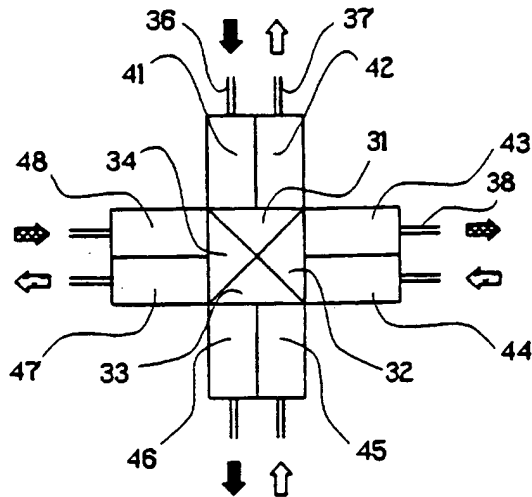


FIG. 2c

